

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200429006

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

精密加工振动监控系统的开发与应用

Development and Application on Vibration Monitoring System
of Precision Machining

洪 策 符

指导教师姓名: 郭 隐 彪 教授

专 业 名 称: 精密仪器及机械

论文提交日期: 2007 年 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

摘 要

精密加工是一个多种因素综合作用的过程, 在加工过程中容易产生振动, 在工件表面形成振动波纹和形状误差, 从而恶化了加工质量, 同时加剧了砂轮的磨损, 降低了生产率。加工中微小的振动对微米级/纳米级的工件表面质量的影响也是极大的。

精密机床加工对加工环境要求较高, 环境噪声引起的精度问题主要通过振动耦合到精密机床的加工过程中。精密机床加工过程中的在线振动监控以及由此引起的机床加工平台动态特性的分析就显得格外重要。控制振动幅度以及抑制振动的产生将能对加工零件精度及表面形貌产生非常积极的影响。

在实际精密加工振动监控中, 存在着两个影响获得加工平台振动情况的因素: 一个是传感器定位问题, 有些传感器无法准确定位到三个互相垂直的轴上, 而这造成了耦合现象, 降低了振动监控的精度。本文运用图形几何学算法以及数据融合技术, 提出了基于矢量模型的振动监控系统设计, 只要输入三个不在同一个平面内的传感器信号, 即可获得三轴机床的三维振动情况, 为精密加工提供环境监控功能, 反馈到加工控制中, 实现更高精度的加工。另一个问题是准确的振动位移幅值的获得, 振动信号采集广泛采用加速度传感器, 但是从加速度信号到位移信号的转换过程中, 当前常用的积分算法存在着精度以及相位问题, 本文采用基于改进的 FFT 方法进行信号转换, 获得了较为满意的精度。

关键字: 振动监控; 计算机图形学; 精密加工

Abstracts

Multiple factors influence the precision machining process, especially Vibration. It causes surface ripple and shape error on the workpiece, accelerate wheel abrasion and decrease production rate. Mini vibration also influences micrometer/nanometer workpiece surface roughness greatly.

In precision machining, much better processing environment is required, vibration coupled into finishing decreases the workpiece accuracy greatly. And it's important to do the on-line vibration monitoring and corresponding dynamic behavior analysis of processing machine platform. Decreasing the vibration of processing machine impacts the workpiece surface and roughness positively.

Two key factors impacts the collection of machine platform vibration:

First is the sensor positioning, some sensors could not accurately position to three perpendicular coordinate system, which causes coupling problem and decrease the precision of vibration collection. This paper put forward vibration monitoring basis on computer geometric and vector model. With three sensor signals without the same plane, 3D vibration of processing machine was obtained, and fed back to the processing to get much better precision.

The other factor is the accurate displacement obtaining. Acceleration sensor is used widely in vibration signal collection. But low precision and phase problems exist using integration algorithm in the conversion from acceleration scope to displacement scope. This paper use FFT in the conversion, which owned a content precision.

Keywords: Vibration Monitoring ; Computer Geometric; Precision Finishing

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 选题背景	1
1.2 振动监控系统国内外发展概况	2
1.3 本文主要研究内容与章节安排	4
第二章 精密加工振动实验平台模型	5
2.1 实验平台的三维实体建模	5
2.2 实验平台的有限元分析	8
2.2.1 平台有限元计算模型	8
2.2.2 平台的模态分析与仿真	9
2.3 小结	12
第三章 精密加工振动监控系统硬件	14
3.1 监控系统整体构成	14
3.2 监控系统数据采集硬件	15
3.2.1 USB总线技术	16
3.2.2 U4516数据采集仪	20
3.3 监控系统传感器与放大器	21
3.4 小结	23
第四章 精密加工振动数据采集系统软件	24
4.1 数据采集原理及实现	24
4.1.1 采样定理	24
4.1.2 量化与量化误差	24
4.1.3 采样方式	25
4.1.4 采集功能的整体实现	25
4.2 数据预处理	27
4.2.1 粗大误差剔除及平滑处理	27
4.2.2 数字滤波器设计及实现	31

4.3 数字信号处理及加窗处理	33
4.3.1 离散傅立叶变换及 FFT	33
4.3.2 频谱泄漏与加窗	37
4.4 小结	38
第五章 基于图形学算法的三轴振动监控系统	39
5.1 三轴振动监控系统研究背景	39
5.2 计算机图形几何学算法	39
5.2.1 图形几何学基本概念	39
5.2.2 向量运算	40
5.2.3 空间中向量到某一平面的投影变换	41
5.3 基于图形学的振动监控系统	43
5.3.1 基于向量的加速度建模	43
5.3.2 加速度向量运算的算法与实现	45
5.3.3 三维加速度信号的融合	46
5.3.4 振动向量在相关平面上的投影与变换	47
5.4 算法封装	48
5.5 小结	49
第六章 三轴振动监控系统软件设计及实现	50
6.1 振动采集及分析系统使用流程	50
6.2 振动监控系统的界面实现	55
6.3 振动监控系统的应用	56
6.3.1 振源识别	56
6.3.2 与动平衡仪的性能对比	58
6.3.3 从加速度到位移量的 FFT 转换	59
6.4 小结	60
第七章 结论与展望	62
7.1 开发总结	62
7.2 展望	62

参考文献	64
致谢	66
发表论文	67

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background, selection and purpose of the thesis	1
1.2 Development of Vibration Monitoring System	2
1.3 Outline of the thesis	4
Chapter 2 Vibration Research Platform Model	5
2.1 3-Dimension Modeling of VRP	5
2.2 Finite Element Analysis of VRP	8
2.2.1 VRP Finite Element Model	8
2.2.2 Mode Parameter Analysis of VRP	9
2.3 Conclusions	12
Chapter 3 Vibration Monitoring System Hardware	14
3.1 Total Components of VMS	14
3.2 Data Acquisition Instrument Hardware of VMS	15
3.2.1 Universal Serial Bus Technology	16
3.2.2 U4516 Data Acquisition Instrument	20
3.3 Accelerator and its Amplifier of VMS	21
3.4 Conclusions	23
Chapter 4 Vibration Data Acquisition Software	24
4.1 Principle and Implementation of Data Acquisition	24
4.1.1 Principle of Sampling	24
4.1.2 Quantification Error	24
4.1.3 Sampling Methods	25
4.1.4 Implementation of Data Acquisition	25
4.2 Data Preprocessor	27
4.2.1 Bulky Error Processor	27
4.2.2 Design and Implementation of FIR Filter	31

4.3 Digital Signal Processing	33
4.3.1 DFT and FFT	33
4.3.2 Windowing for FFT	37
4.4 Conclusions	38
Chapter 5 Vibration Monitoring System Implementation Base on Geometric for 3-Dimension Precision Machining	39
5.1 Background of 3-Dimension Vibration Monitoring System ..	39
5.2 Algorithm for Geometric	39
5.2.1 Basic Conception for Geometric	39
5.2.2 Vector Calculation	40
5.2.3 Space Vector Projection to Surface	41
5.3 Implementation of Vibration Monitoring Based on Geometric	43
5.3.1 Acceleration Modeling	43
5.3.2 Algorithm Implementation of Vector Calculation	45
5.3.3 Fusing of 3-Dimentation Acceleration Signal	46
5.3.4 Vibration Vector Projection to Key Surface	47
5.4 Algorithm Encapsulation	48
5.5 Conclusions	49
Chapter 6 3-Dimension Vibration Monitoring System Software and Application	50
6.1 Flow Path for Using Vibration Data Acquisition and Analysis System	50
6.2 Interface Implementation of Vibration Monitoring System	55
6.3 Application of Vibration Monitoring System	56
6.3.1 Vibration Source Identification	56
6.3.2 Comparison with Balance Indicating Instrument	58
6.3.3 FFT Conversion for Acceleration to Displacement ...	59
6.4 Conclusions	60

Chapter 7 Conclusions and Prospect	62
7.1 Conclusions	62
7.2 Prospect	62
References	64
Thanks	66
Papers	67

第一章 绪论

1.1 选题背景

在进行精密、超精密加工时要取得高精度、低表面粗糙度,必须保持加工过程的高度稳定,排除加工过程中的各种干扰。机械加工工艺系统中影响加工过程稳定性的主要因素是工艺系统的受力变形,热变形,振动和其它环境条件(如灰尘、噪声等)。轴对称非球面光学元件可以获得球面光学元件不可比拟的良好的成像质量,可提高光电系统的鉴别能力,在军用和民用光电产品中应用广泛,是光电系统中的重要零件。但由于超精密磨削加工是一个多种因素综合作用的过程,在加工过程中容易产生振动,在工件表面形成振动波纹和形状误差(如图1.1所示),从而恶化了加工质量,同时加剧了砂轮的磨损,降低了生产率。加工中微小的振动对微米级/纳米级的工件表面质量的影响也是极大的^[1]。

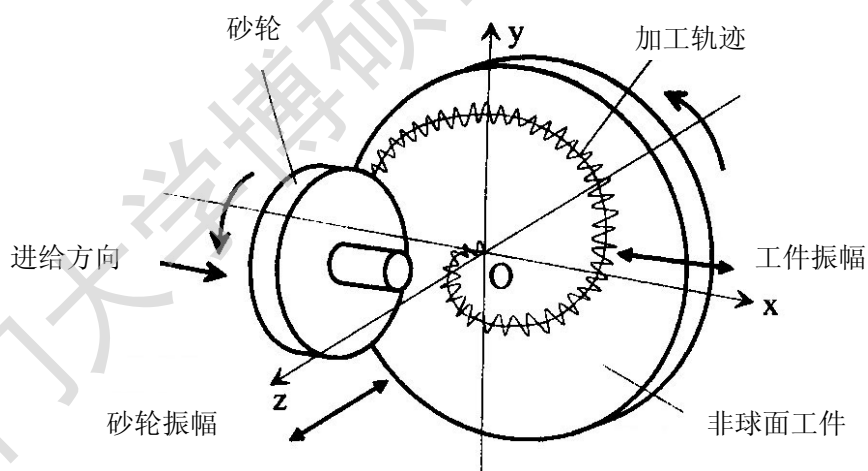


图1.1 非球面磨削加工的表面轮廓形成

磨削过程中机床的振动会改变砂轮和工件的正确相对位置,从而导致加工件的尺寸误差、形状误差和表面粗糙度增加。在镜面磨削中,由于振动的影响,表面粗糙度只能达到 $Ra\ 0.03\ \mu m$ 。若将工作台的振幅限制在:停车后外界干扰引起的振幅 $0.1\sim0.2\ \mu m$;开动机床后电机振幅 $0.5\sim1.0\ \mu m$;磨削时振幅为 $1\sim2\ \mu m$ 时,就可以磨出粗糙度 $Ra<0.01\ \mu m$ 的表面。不仅振幅有影响,振动频率也有影响,

某些低频振动对表面粗糙度影响很大^[2]。

在加工有些机械零件过程中, 机床经常发生振动, 特别是利用超高速机床加工零件时, 降低了工件表面质量和生产率, 甚至发生因切削颤振使被加工零件断成几截的重大事故。因此, 必须对切削加工过程中的颤振进行有效控制, 这也是国际生产工程界广泛关注的前沿课题之一^[3]。

从上述例子可以发现, 随着生产和工业技术的进步, 新的高强度材料不断被采用, 新的加工方式的不断出现, 工作环境越来越复杂甚至严酷, 对振动进行精确的测量并通过一定的方法进行反馈, 从而达到抑制微振, 这将在很大的程度上改善机床加工性能, 改进产品精度和表面形貌。

对于精密加工, 加工环境要求较为严苛, 在保证温度、湿度等环境因素的前提下, 环境噪声引起的精度问题将主要通过振动耦合到精密机床的加工过程中。精密加工过程中的在线振动监控以及由此引起的机床加工平台动态特性的分析就显得格外重要。控制振动幅度以及抑制振动的产生将能对加工零件精度及表面形貌产生非常积极的影响。

在实际运行过程中, 精密加工振动监控是一种可靠而有效的方法, 因为振动信号中携带着精密机床内部运行状态的大量信息, 人们可以通过对这些信息进行采集和分析, 根据得到的信息特征进行诊断。当精密机床加工出的工件精度无法达到要求时, 可以对该机床进行振动状态检测与分析。而随着信号分析技术的发展, 人们还会看到由不同类型、性质、原因耦合进来的振动的特征将是不同的, 如不同的频率成分、幅值大小、相位差别、波形形状、能量分布状况等, 而这使从振动信号中识别造成精度问题的原因有了更多的依据。

在实际加工振动监控中, 存在着两个影响获得机床加工平台振动情况的重要因素: 一个是振动信号采集的性能问题, 这关系到信号真实性; 另一个问题是传感器定位与振动数据分析问题, 这关系到信号的可利用情况。本课题也是围绕这两个问题展开研究。

1.2 振动监控系统国内外发展概况

近年来, 国内相当多的厂商相继开发了性能各异的振动测试分析仪/系统, 总体归纳起来, 不妨分为以下几种类别。一种是把机械设备振动信号的采集功能集成到采集板卡上, 把采集板卡插入像工控机等微机设备中; 并在微机中编写驱

动程序和分析软件。这种测试分析系统的优点是能实现大批量数据的采集并能快速的进行数据分析，而不足之处是这种振动测试分析系统结构复杂、体积大、分量重、携带不方便。另一种是以单片机为核心技术的振动测试分析仪，这种分析仪虽然小巧、携带方便，但是它的分析功能十分有限，不能有效地进行复杂的信号处理任务，往往难以满足振动测试分析和诊断要求。在上世纪七八十年代，国内引进了大量的日本的、美国的各种数字式FFT分析仪，虽然它们有分析精度高、功能多等优点，但是这些测试分析仪的价格极其昂贵，操作也很不方便，它们的功能主要是以FFT为基础的数据处理和频谱分析，价格昂贵而性能缺乏灵活性和二次开发功能大大地限制了其在市场上大规模推广应用。

随着微电子技术和微计算机技术的迅猛发展，振动测试分析仪器进入智能化时代，对机械设备振动的高精度测量、实时测量及自动测量都成为可能。根据仪器设计时上下位机侧重点的不同，形成了两种既有区别又有联系的仪器设计思想：一是信号采集及分析功能都由下位机来完成，根据测试的需要，采用一个或多个微处理器来完成仪器的测量控制、数据采集、数据处理、数据显示等功能；二是以通用微机为基础，下位机对振动信号进行采集和预处理，通过下位机与上位机的外设接口把采集到的数据传给上位机，并在上位机实现对数据进行图形显示、数据处理、数据分析及打印等功能。其中，第一种设计思想被智能化仪器所采用，即振动测试分析仪器的智能化设计发展方向；第二种设计思想是近年来的最新发展，即仪器的虚拟化发展方向^[4]。

仪器技术与计算机技术深层次的结合便创造了虚拟仪器的概念，虚拟仪器使计算机资源、仪器硬件与用于数据分析、过程通讯及图形用户界面的应用软件有机结合起来。用户通过友好的图形界面(虚拟面板)操作计算机，就像在操作自己定义、自己设计的一台传统仪器一样。虚拟化的仪器以透明的方式把计算机资源(如微处理器、内存、显示器等)和仪器硬件(如A/D、D/A、数字I/O、定时器、信号调理等)的测量功能、控制能力结合在一起，并通过软件实现数据的分析处理、图形化用户接口等功能。简而言之，VI(虚拟仪器)系统是由计算机、应用软件和仪器硬件组成的，用户可以通过友好的图形界面操作计算机，如同操作功能相同的单台传统仪器一样^[5]。

在虚拟仪器系统中，硬件仅仅是为了解决信号的输入和输出，而软件才是整

个仪器的关键。它由用户自己设计和定义，可满足用户的特殊要求。由于软件是关键，可以很方便地改变软件来适应不同的要求，进而改变、增强仪器系统的功能和规模，使得功能更加灵活、强大，且易于与网络、外设及其它应用连接：还可以很快地跟上计算机的发展，升级、重建自己的仪器，进而节省研发费用。

1.3 本文主要研究内容与章节安排

本课题是国家 863 项目的子项目，应用于成都精密光学研究中心的精密磨床上。本课题实现了一套振动监控系统，课题在硬件上采用 USB 接口的数据采集仪，软件系统基于虚拟仪器设计建立了振动数据采集系统、时频域数据处理算法、数字滤波器设计及应用以及用于解决传感器定位问题的基于计算机图形学的数据处理算法实现。具体的章节安排如下：

- 第一章介绍振动监控在精密加工中的重要性以及振动监控系统的现状及发展趋势。
- 第二章建立一个精密加工振动实验平台，以方便进行振动测试与分析。并对该平台进行结构模态有限元分析。
- 第三章研究基于 USB 总线的数据采集仪，建立振动监控系统的硬件实现。
- 第四章研究了振动监控中常用的时频域信号处理算法以及数字滤波技术，并在 LabWindows/CVI 开发环境下实现了相应算法及软件界面系统。
- 第五章研究了图形几何学应用于获取更高精度的振动信号，研究了其算法实现，并建立了一个 DLL 格式的振动信号处理函数库。
- 第六章展示了整个振动监控系统的界面系统和使用方法，结合在成都精密光学研究中心的应用与实验，分析本课题建立的振动监控系统的性能。

第二章 精密加工振动实验平台模型

为了便于实验的进行,需要建立一个精密加工振动实验平台,以方便进行振动测试与分析。精密加工振动实验平台需要满足两个要求:一是需要能够反映精密机床的振动定性情况,这样在振动实验平台上所作的实验才有意义;二是振动实验平台的振动情况需要满足可控性,即振动实验平台的振动频率和幅度需要可以调节,而这可以通过激振器来实现。

运用有限元法对振动实验平台机构进行分析时,首先的任务是建立振动实验平台的抽象模型。模型建立的不同,分析后的结果也会不同。有限元模型建立的是否合理,会直接影响到分析结果的正确性及实用价值,所以建立合理实用的模型是至关重要的。

有限单元法分析问题的思路是从结构矩阵分析推广而来的。起源于50年代的杆系结构矩阵分析,是把每一杆件作为一个单元,整个结构就看作是有限单元连接而成的集合体,分析每一个单元的力学特性后,再组集起来就能建立整体结构的力学方程式,然后利用计算机求解。

本章首先建立精密加工振动实验平台的三维实体模型,然后利用ANSYS分析软件进行有限元模态计算和分析,得到振动实验平台的模态参数,分析其动态特性。

2.1 实验平台的三维实体建模

自问世以来,Pro/e 已成为世界上最普及的三维 CAD/CAM 系统的标准软件,被广泛用于航空航天、机械、电子等领域。Pro/e 功能强大,它的使用改变了传统 CAD/CAM 的作业方式,参数化设计及关联性数据库使产品的设计变得更加容易。

抽象模型一要体现出振动实验系统多自由度“质量—刚度—阻尼”系统的要求,二要进行一定的简化,方便后续的振动模态参数有限元分析及振动测量,三要便于安装振动传感器到各个任意方向。基于以上理由,把振动实验平台简化成由平板及圆柱组成的平台式的实验系统。

图 2.1—图 2.4 为各个机构模块的三维图,图 2.5 为振动实验平台的模型装配图。图 2.6 为振动实验平台。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库